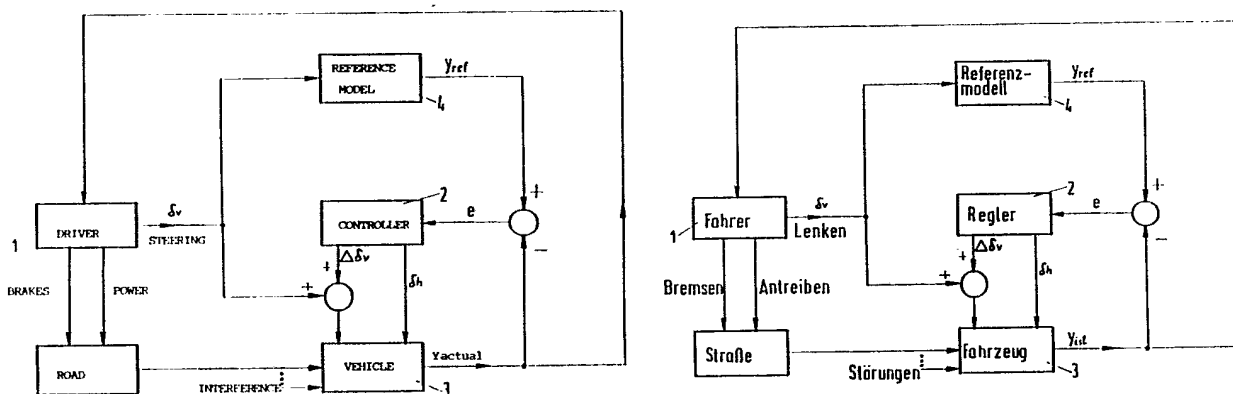


<p><b>(51) Internationale Patentklassifikation 5 :</b></p> <p><b>B62D 7/15</b></p>	<p><b>A1</b></p>	<p><b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:</b> <b>WO 92/05994</b></p> <p><b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 16. April 1992 (16.04.92)</p>
<p><b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/EP91/01838</p> <p><b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 26. September 1991 (26.09.91)</p> <p><b>(30) Prioritätsdaten:</b> P 40 30 846.4 29. September 1990 (29.09.90) DE</p> <p><b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, D-7000 Stuttgart 30 (DE).</p> <p><b>(72) Erfinder; und</b></p> <p><b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> CAO, Chi-Thuan [DE/DE]; Tubizer Str. 35, D-7015 Korntal-Münchingen 1 (DE). BALLES, Winfried [DE/DE]; Dürmerstr. 60, D-6967 Buchen-Hainstadt (DE). HEESS, Gerhard [DE/DE]; Stuttgarter Str. 90, D-7146 Tamm (DE). ERBAN, Andreas [DE/DE]; Berliner Straße 24, D-7120 Bietigheim (DE). ZIERHUT, Andreas [DE/DE]; Drosselweg 12, D-7104 Obersulm-Sülzbach (DE).</p>		<p><b>(74) Anwalt:</b> KAMMER, Arno; Robert Bosch GmbH, Zentralabteilung Patente, Postfach 30 02 20, D-7000 Stuttgart 30 (DE).</p> <p><b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> AT (europäisches Patent), BE (europäisches Patent), CH (europäisches Patent), DE (europäisches Patent), DK (europäisches Patent), ES (europäisches Patent), FR (europäisches Patent), GB (europäisches Patent), GR (europäisches Patent), IT (europäisches Patent), JP, LU (europäisches Patent), NL (europäisches Patent), SE (europäisches Patent), US.</p> <p><b>Veröffentlicht</b>  <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i></p>

**(54) Title:** METHOD OF CONTROLLING VEHICLE STEERING ANGLE

**(54) Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR STEUERUNG DES LENKWINKELS



**(57) Abstract**

Described is a method of controlling the steering angle  $\delta$  of one of more wheels of a vehicle in order to improve vehicle dynamic behaviour. The steering angle  $\delta$  and a parameter characteristic of vehicle dynamic behaviour (e.g. yaw rate  $\omega$ ) are measured, this parameter being combined with the steering angle to give a calculated parameter. Using a reference model, a reference parameter is generated. Making use of the steering angle and the difference between these two parameters, one or more reference steering angle(s) are determined in accordance with a given control law.

### (57) Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren zur Steuerung des Lenkwinkels  $\delta$  eines oder mehrerer Räder eines Fahrzeugs zwecks Verbesserung der Fahrzeugdynamik beschrieben. Es werden der Lenkwinkel  $\delta$  und eine die Dynamik des Fahrzeugs kennzeichnende Fahrzeugvariable (z.B. Giergeschwindigkeit  $\omega$ ) gemessen, aus der unter Einbeziehung des Lenkwinkels eine Rechenvariante gewonnen wird. Mit Hilfe eines Referenzmodells wird eine Referenzvariable erzeugt. Unter Nutzung der Differenz der beiden Variablen und der Lenkwinkel wird entsprechend einem bestimmten Reglergesetz der oder die Soll lenkwinkel ermittelt.

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

<b>AT</b>	Österreich	<b>ES</b>	Spanien	<b>ML</b>	Mali
<b>AU</b>	Australien	<b>FI</b>	Finnland	<b>MN</b>	Mongolei
<b>BB</b>	Barbados	<b>FR</b>	Frankreich	<b>MR</b>	Mauritanien
<b>BE</b>	Belgien	<b>GA</b>	Gabon	<b>MW</b>	Malawi
<b>BF</b>	Burkina Faso	<b>GB</b>	Vereinigtes Königreich	<b>NL</b>	Niederlande
<b>BG</b>	Bulgarien	<b>GN</b>	Guinea	<b>NO</b>	Norwegen
<b>BJ</b>	Benin	<b>GR</b>	Griechenland	<b>PL</b>	Polen
<b>BR</b>	Brasilien	<b>HU</b>	Ungarn	<b>RO</b>	Rumänien
<b>CA</b>	Kanada	<b>IT</b>	Italien	<b>SD</b>	Sudan
<b>CF</b>	Zentrale Afrikanische Republik	<b>JP</b>	Japan	<b>SE</b>	Schweden
<b>CG</b>	Kongo	<b>KP</b>	Demokratische Volksrepublik Korea	<b>SN</b>	Senegal
<b>CH</b>	Schweiz	<b>KR</b>	Republik Korea	<b>SU<sup>+</sup></b>	Soviet Union
<b>CI</b>	Côte d'Ivoire	<b>LI</b>	Liechtenstein	<b>TD</b>	Tschad
<b>CM</b>	Kamerun	<b>LK</b>	Sri Lanka	<b>TG</b>	Togo
<b>CS</b>	Tschechoslowakei	<b>LU</b>	Luxemburg	<b>US</b>	Vereinigte Staaten von Amerika
<b>DE</b>	Deutschland	<b>MC</b>	Monaco		
<b>DK</b>	Dänemark	<b>MG</b>	Madagaskar		

**+ Die Bestimmung der "SU" hat Wirkung in der Russischen Föderation. Es ist noch nicht bekannt, ob solche Bestimmungen in anderen Staaten der ehemaligen Sowjetunion Wirkung haben.**

1

## Verfahren zur Steuerung des Lenkwinkels

### Stand der Technik

Ein Verfahren mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 ist aus der DE-A1 37 34 477 bekannt.

Dort werden neben dem Lenkwinkel die Fahrzeuggeschwindigkeit, die Giergeschwindigkeit und die Quergeschwindigkeit bestimmt und aus den beiden letzten Größen wird eine Linearkombination als Regelgröße gebildet, die die Fahrzeugbewegung kennzeichnet. Mit Hilfe eines Modells, das die Fahrzeuggeschwindigkeit und den Lenkradwinkel verarbeitet, wird eine Referenzgröße erzeugt und aus beiden Größen wird dann die Differenz gebildet, die für die Lenkwinkeleinstellung benutzt wird.

### Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße Lösung hat die Vorteile, daß der Reglerentwurf einfach ist, daß der Regler im on-line-Betrieb betrieben werden kann, daß er robust gegenüber Parameteränderungen bzw. nichtmodellierter Fahrzeugdynamikanteile ist, daß er flexibel bezgl. der Eingriffsmöglichkeiten und bezgl. der Struktur der Regelstrecke ist, und daß er schnell reagiert und Störungen schnell ausregelt. Außerdem wird neben dem Lenkwinkel nur eine die Dynamik des Fahrzeugs kennzeichnende Größe (z.B. Giergeschwindigkeit um die Hochachse, oder Quergeschwindigkeit) benötigt.

Es ergeben sich prinzipiell drei Möglichkeiten des Lenkeingriffs:

- Reine Hinterachslenkung
- Reine Vorderachslenkung
- Kombination von Vorder- und Hinterachslenkung,

wobei der Eingriff aufgrund gemessener oder geschätzter Fahrzeug-Zustandsgrößen erfolgt. Das Ziel des Eingriffs besteht grundsätzlich darin, dem Fahrzeug ein gewünschtes Fahrverhalten aufzuprägen und somit die dynamischen Eigenschaften zu verbessern. Ein Referenzmodell dient dazu, das gewünschte Fahrverhalten vorzugeben.

Fig. 1 veranschaulicht den prinzipiellen Aufbau eines geregelten Systems einer aktiven Lenkung.

Der Fahrer 1 gibt den Lenkwinkel  $\delta_V$  vor. Dieser wirkt gegebenenfalls von einem Regler 2 geändert ( $\Delta\delta_V$ ) auf das Fahrzeug 3. Es kann auch der Hinterachslenkwinkel  $\delta_H$  oder es können beide Lenkwinkel  $\delta_V$  und  $\delta_H$  geändert werden. Der Fahrzeugblock 3 beinhaltet ein Fahrzeug der beschriebenen Art, das unter Zuhilfenahme der Meßgrößen ein Ausgangssignal  $Y$  erzeugt. Es gibt noch ein Referenzmodell 4, dem ebenfalls der Lenkwinkel  $\delta_V$  zugeführt wird und das nach einer vorgegebenen Modellbeziehung ein Referenzsignal  $Y_{ref}$  erzeugt. Die Differenz der beiden Signale ( $Y_{ref} - Y_{ist}$ ) bewirkt über den Regler 2 die Änderung des bzw. der Lenkwinkel.

Die folgende Ableitung geht davon aus, daß der Hinterachslenkwinkel variiert wird.

Als Basis für den Reglerentwurf, auf dem die Erfindung basiert, dient das übliche Einspurmodell als Fahrzeugmodell mit den Zustandgrößen Quergeschwindigkeit  $V_y$  und Giergeschwindigkeit  $\omega$  (Nomenklatur siehe Anhang). Dieses Modell zeigt Fig. 2. Es gilt

$\underline{\dot{x}} = \underline{A} \underline{x} + \underline{B} \underline{u}$ , wobei gilt:

$$\underline{\dot{x}} = \begin{bmatrix} \dot{v}_y \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} \quad \underline{u} = \begin{bmatrix} \delta_V \\ \delta_H \end{bmatrix} \quad \text{und}$$

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} \frac{-2K_V - 2K_H}{mV_x} & \frac{-2K_V a + 2K_H b - mV_x^2}{mV_x} \\ \frac{-2K_V a + 2K_H b}{\theta V_x} & \frac{-2K_V a^2 - 2K_H b^2}{\theta V_x} \end{bmatrix}$$

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} \frac{2K_V}{m} & \frac{2K_H}{m} \\ \frac{2K_V a}{\theta} & \frac{-2K_H b}{\theta} \end{bmatrix}$$

Dem Fahrzeugmodell liegen folgende Vereinfachungen zugrunde:

1. Der Schräglaufwinkel wird als klein angenommen, weshalb gilt:

$$\alpha_V = \delta_V - \frac{v_y + a\omega}{V_x} \quad , \quad \alpha_H = \delta_H - \frac{v_y - b\omega}{V_x}$$

2. Der Zusammenhang zwischen Reifenquerkraft und Schräglaufwinkel wird als linear unterstellt.

$$F_{Y,VA} = 2K_V \alpha_V \quad (\text{Vorderachse})$$

$$F_{Y,HA} = 2K_H \alpha_H \quad (\text{Hinterachse})$$

3. Fahrzeuglängsgeschwindigkeit  $V_x$  sei stückweise konstant.

Man beachte die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Elemente der Systemmatrix  $\underline{A}$ . Die Steifigkeiten  $K_V$ ,  $K_H$  können in der Regel nur im stabilen bzw. linearen Bereich näherungsweise angegeben werden (Fig. 3).

Infolge der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Matrix  $\underline{A}$  muß beim Stand der Technik der Reglerentwurf für unterschiedliche Geschwindigkeiten - z.B. in einem Raster von 5 km/h - durchgeführt werden. Abgesehen von dem entstehenden Entwurfsaufwand ist die Umschaltung der Regler (vom Bereich zum Bereich der Geschwindigkeit) bisweilen sehr abrupt. Außerdem ist die Robustheit des Reglers gegenüber unbekannten Parametern (wie nichtlineare Reifenkennlinien) nicht gewährleistet.

Fig. 4 gibt das prinzipielle Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Modellfolgeregelung für die Hinterachslenkung wieder.

Das Prinzip der Modellfolgeregelung ist folgendes: ein gewünschtes Fahrzeugverhalten, das durch ein Referenzmodell beschrieben wird, wird mit dem tatsächlichen Fahrzeugverhalten verglichen. Das resultierende Fehlersignal  $e$  dient dazu, einen Sollwert  $\delta_{H,soll}$  für die Hinterachslenkung abzuleiten. Über ein hydraulisches Stellglied wird dann der notwendige Lenkwinkel  $\delta_H$  erzeugt, der das Fehlersignal  $e$  möglichst klein hält.

Die Ableitung des Regelgesetzes zur Erzeugung des Sollwertes  $\delta_{H,soll}$  für eine Hinterachslenkung oder  $\delta_{V,soll}$  für eine Vorderachslenkung oder  $\{\delta_{h,soll}, \delta_{v,soll}\}$  für eine kombinierte Hinter-/Vorderachslenkung wird ganz allgemein wie folgt durchgeführt:

- 1) Die Systemdynamik  $\underline{A} \underline{X}$  wird in zwei Anteile  $\underline{F}(X,t)$  (bekannt),  $\underline{H}(X,t)$  (unbekannt bzw. veränderlich) zerlegt und durch eine unbekannte Störung  $\underline{D}(t)$  (z.B. Windstörung) für das Fahrzeugmodell ergänzt:

$$\underline{\dot{X}} = \underline{A} \underline{X} + \underline{B} \underline{U} = \underline{F}(X,t) + \underline{H}(X,t) + \underline{B} \underline{U} + \underline{D}(t)$$

Hierin sind  $\underline{U}$  = Stellgröße = Sollwert für die aktive Lenkung  
 $\underline{X}$  = Zustandsgröße = Regelgröße für die aktive Lenkung

- 2) Für das Referenzmodell wird folgendes angesetzt:

$$\underline{\dot{X}}_m = \underline{A}_m \underline{X}_m + \underline{B}_m \underline{U}_m$$

- 3) Als Fehlersignal erhält man

$$\underline{e} = \underline{X}_m - \underline{X}$$

5

- 4) Für die Modellfolgeregelung gilt: Gesucht wird  $\underline{U}$ , so daß

$$\underline{e} = \underline{X}_m - \underline{X} = \underline{A}_e \underline{e}$$

sich konvergiert.

- 5) Es ergibt sich als Lösung:

$$\underline{U} = (\underline{B}^T \underline{B})^{-1} \underline{B}^T \{ -\underline{F}(X,t) - \underline{H}(X,t) - \underline{D}(t) + \underline{A}_m \underline{X} + \underline{B}_m \underline{U}_m - \underline{K} \underline{e} \},$$

wobei  $\underline{K}$  so gewählt wird, daß

$$\underline{A}_E = \underline{A}_m + \underline{K}$$

nur Eigenwerte mit negativen Realanteilen besitzt.

- 6) Die Realisierung erfolgt durch folgenden Trick: Da  $\underline{H}(X,t) + \underline{D}(t)$  nicht bekannt sind, werden sie aus bekannten Signalen approximiert:

$\underline{H}(X,t) + \underline{D}(t) \approx \underline{X}(t-L) - \underline{F}(X,t-L) - \underline{B}(t-L) \cdot \underline{U}(t-L)$ , wobei der Zeitpunkt  $(t-L)$  gegenüber dem Zeitpunkt  $t$  um  $L$  verschoben ist. Man erhält somit:

$$\underline{U}(t) = (\underline{B}^T \underline{B})^{-1} \underline{B}^T \cdot \{ -\underline{F}(t) - \dot{\underline{X}}(t-L) + \underline{F}(t-L) + \underline{B}(t-L) \underline{U}(t-L) + \underline{A}_m \underline{X} + \underline{B}_m \underline{U}_m - \underline{K} \underline{e} \}$$

Daraus kann man erkennen, daß

- die unbekannte Dynamik (wie Änderungen der Reifensteifigkeiten) und die nicht erfaßbaren Störungen (wie z.B. Seitenwind) im Reglerentwurf durch meßbare Größen berücksichtigt werden, was die Robustheit erhöht,
- das Regelgesetz einfach zu realisieren ist,

- die Reglerstruktur bezüglich der Eingriffsmöglichkeiten (Vorderachs-, Hinterachs- oder kombinierte Vorder- und Hinterachslenkung) sehr flexibel ist.
- Realisierung für eine Hinterachslenkung

Für eine reine Hinterachslenkung kann das Regelgesetz wie in Fig. 5 mit Hilfe eines Mikrorechners realisiert werden.  $Z^{-1}$  bedeutet eine Verschiebung eines Signals um einen Rechenschritt:

$$Z^{-1} \cdot Y_{ist}(K) = Y_{ist}(K-1)$$

$$Z^{-1} \cdot \delta_{H,soll}(K) = \delta_{H,soll}(K-1)$$

Je nach Wahl der Regelgröße  $Y_{ist}$  ( $\omega$ ,  $V_Y$  oder andere Größe) können die Reglerparameter  $\{K_E, K_{Y1}, K_{Y0}, K_I, K_{\delta 1}, K_{\delta 0}\}$  der Tabelle der Fig. 6 entnommen werden.

Wird die  $\omega$ -Regelung und Hinterachslenkwinkeländerung gewählt, so gilt für den Block 11:

$$(X = Y_{ist} = \omega_{ist} = \omega ; X_m = Y_{ref} = \omega_{ref} ; U = \delta_H) \text{ und für das}$$

Fahrzeugmodell

$$\omega(t) = a_{22} \omega(t) + b_{21} \delta_V(t) + b_{22} \delta_H(t) + Z(t).$$

$Z(t)$  ist eine zufällige Störung wie z.B. Seitenwind.

Das zugehörige äquivalente zeitdiskrete Fahrzeugmodell lautet:

$$\omega(K+1) = a_{22}' \omega(K) + b_{21}' \delta_V(K) + b_{22}' \delta_H(K) + Z_\omega(K)$$

wobei  $a_{22}' = \exp(a_{22} \cdot T_A)$   $T_A$ : Abtastzeit (Rechenzyklus)

$$b_{21}' = \int_0^{T_A} \exp(a_{22} \cdot t) dt \cdot b_{21} = \frac{b_{21}}{a_{22}} \cdot [\exp(a_{22} \cdot T_A) - 1]$$



7

$$b'_{22} = \frac{b_{22}}{a_{22}} \cdot [\exp(a_{22}T_A) - 1] \text{ ist. } \omega_{(K)} \text{ und } \delta_V \text{ und } \delta_H \text{ werden}$$

gemessen, wobei  $\omega_{(K)}$  auch geschätzt werden kann.

Das Referenzmodell (Block 12) in diskreter Form lautet:

$$\omega_{\text{ref}}(K+1) = a'_{22\text{ref}} \cdot \omega_{\text{ref}}(K) + b'_{21\text{ref}} \cdot \delta_V(K)$$

$$\text{wobei } a'_{22\text{ref}} = \exp(a_{22\text{ref}} \cdot T_A) \text{ und}$$

$$b'_{21\text{ref}} = \frac{b_{21\text{ref}}}{a_{22\text{ref}}} (a_{22\text{ref}} - 1) \text{ ist}$$

Für das Regelgesetz des Blocks 10 gilt:

$$\delta_{H_{\text{soll}}}(K) = \frac{1}{b_{22}} \{ -[a'_{22}\omega(K) + b'_{21}\delta_V(K)] - \omega(K) \}$$

$$+ [a'_{22}\omega(K-1) + b'_{21}\delta_V(K-1)] + b'_{22}\delta_{H_{\text{soll}}}(K-1)$$

$$+ [a'_{22\text{ref}}\omega_{\text{ref}}(K) + b'_{21\text{ref}}\delta_V(K)] - K_{E,\omega} \cdot e(K) \}$$

oder umgeformt

$$\delta_{H_{\text{soll}}}(K) = \underbrace{\frac{1}{b'_{22}}}_{K_I} \{ \underbrace{(a'_{22\text{ref}} - a'_{22} - 1)}_{K_{\omega 0}} \cdot \omega(K) + \underbrace{a'_{22}}_{K_{\omega 1}} \omega(K-1) \}$$

$$+ \underbrace{(b'_{21\text{ref}} - b'_{21})}_{K_{\delta 0}} \delta_V(K)$$

$$+ \underbrace{b'_{21}}_{K_{\delta 1}} \cdot \delta_V(K-1) - \underbrace{K_{E\omega}}_{K_E} \cdot e(K) \} + \delta_{H_{\text{soll}}}(K-1)$$

8

Im Block 10 der Fig. 5 ist eine Verschaltung entsprechend dieser Beziehung vorgenommen, wobei die Schaltung aus Addierern 10a, Multiplikatoren 10b und Speichern 10c für eine Taktzeit  $T_A$  besteht. Über einen Block 13 wird dann der Lenkwinkel eingestellt.

Im Falle einer  $V_Y$ -Regelung lauten die Modellgleichungen:

$$\begin{aligned} \text{Fahrzeugmodell:} \quad V_Y(K+1) &= a'_{11} V_Y(K) + b'_{11} \delta_V(K) \\ &+ b'_{12} \delta_H(K) + z_{V_Y}(K) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Referenzmodell:} \quad V_{Y,\text{ref}}(K+1) &= a_{11\text{ref}} \cdot V_{Y,\text{ref}}(K) \\ &+ b'_{11\text{ref}} \delta_V(K) \end{aligned}$$

Die Werte für die einzelnen Größen sind der Tabelle der Fig. 6 entnehmbar. Im Falle einer  $a_Y$ -Regelung gilt die Ableitung in analoger Weise.

Das Regelgesetz ist für on-line Betrieb bei der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Systemmatrix  $\underline{A}$  besonders geeignet, weil diese Abhängigkeit explizit in  $\underline{F}(X,t)$  auftaucht und deshalb immer im Regelgesetz mitberücksichtigt wird.

Der mit dem Regelgesetz gewonnene Sollwert  $\delta_{H,\text{soll}}$  ist mit Hilfe einer hydraulischen Lageregelung (Block 13 der Fig. 5) möglichst genau einzuhalten. Da bekanntlich viele Nichtlinearitäten bzw. veränderliche Parameter bei dem hydraulischen Steller vorhanden sind, sind in Fig. 7 Verbesserungen vorgenommen. Darin sind zwei Anteile zu erwähnen:

Der dynamische Anteil des Sollsignals  $\delta_{H,\text{soll}}$  wird mit einem nach dem Modellfolgeprinzip konstruierten Kompensator verbessert. Dieser umfaßt ein Referenzmodell (Block 20) und einen Kompensator 21. Ähnlich wie bei dem erfindungsgemäßen Entwurf kann durch den Kompensator ein Korrektursignal erzeugt werden, das die Abweichung zwischen  $\delta_{H,\text{soll}}$  und  $\delta_H$  minimiert.

Für den stationären Anteil ist ein langsamer Integrator 22 vorgesehen, der den stationären Fehler ausregelt.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung werden parallel zwei Fahrzeugvariable, z.B. Giergeschwindigkeit  $\omega$  und die Querbeschleunigung  $a_y$  und daraus zwei Sollgrößen für den Lenkwinkel  $\delta_{H1}$  und  $\delta_{H2}$  bestimmt. Unter Nutzung der Beziehung

$$\delta_H = F \cdot \delta_{H1} + (1 - F) \cdot \delta_{H2}$$

werden die beiden Sollwerte miteinander verknüpft.

Mittels einer Fuzzy-Logik wird dann in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_X$  und der Ableitung des Lenkwinkels  $\dot{\delta}_V$  die Größe  $F$  variiert.

Das Konzept ist in Fig. 8 dargestellt.

Am Fahrzeug 30 stehen folgende Signale zur Verfügung:

$\omega$  : Giergeschwindigkeit  
 $a_y$  : Querbeschleunigung im Schwerpunkt des Fahrzeugs  
 $V_X$  : Längsgeschwindigkeit  
 $\delta_V$  : Lenkwinkel

$\omega$  und  $a_y$  dienen dazu, um eine  $\omega$ -Regelung und eine  $a_y$ -Regelung in Form einer Modellfolgeregelung für die Hinterachslenkung durchzuführen (Block 31). Die entsprechenden Regler 32 und 33 sind wie oben beschrieben ausgebildet, wobei die Sollwerte  $\omega_{soll}$  und  $a_{y,soll}$  mit dem Referenzmodell I (Block 34) und dem Referenzmodell II (Block 35) erzeugt werden. Die gewonnenen Stellgrößen  $\delta_{H,1}$  und  $\delta_{H,2}$  werden im Block 36 mit den Faktoren  $F_1$  und  $(1-F_1)$  gewichtet, so daß eine resultierende Stellgröße  $\delta_H$  für die Hinterachslenkung geliefert wird:

$$\delta_H = F_1 \cdot \delta_{H,\omega} + (1-F_1) \cdot \delta_{H,aY} \quad \text{Gl. (1)}$$

Der Gewichtungsfaktor  $F$  wird erfindungsgemäß mit Hilfe einer "Fuzzy-Logik" bestimmt, wobei

$$V_X \text{ und } \dot{\delta}_V \left( \dot{\delta}_V = \frac{d\delta_V}{dt} \right) \text{ als Variable verwendet werden.}$$

10

Zur Bestimmung von  $F_1$  mit Hilfe einer "Fuzzy-Logik" sind grundsätzlich drei Schritte durchzuführen:

- Definition von Zugehörigkeitsfunktionen für die Eingabegrößen ( $V_X, \dot{\delta}_Y$ ) und Ausgangsgrößen ( $F_1$ ),
- Erstellung von Fuzzy-Regeln,
- Anwendung von Fuzzy-Reasoning-Methoden.

Beispielhaft sind diese Zugehörigkeitsfunktionen in Fig. 9 wiedergegeben. Hier wird die Anzahl der Fuzzy-Variablen (BIG = B, SMALL = S, HIGH = H, LOW = L, MEDIUM = M) einfachhalber auf das Minimum reduziert. Die Fuzzy-Regeln sind in Fig. 10 zusammengestellt. Die physikalische Größe von  $F_1$  erzielt man dann durch Anwendung von z.B. "Compositional rules of inference", die z.B. im Aufsatz Zadeh, L.: "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes" in IEEE vol. SMC-3, no. 1, 1973, Pendelpalak. 28-44 veröffentlicht sind.

Die Ermittlung eines Verlaufs von  $F$  kann der Fig. 11 entnommen werden. Der Verlauf selbst ist in Fig. 10f dargestellt.

- Realisierung für eine Vorderachslenkung oder eine kombinierte Vorder- und Hinterachslenkung

für den Fall einer Vorderachslenkung oder einer kombinierten Vorder- und Hinterachslenkung müssen die entsprechenden Matrizen  $\{\underline{B}, \underline{A}_m, \underline{B}_m, \underline{E}, \underline{X}, \underline{U}, \underline{U}_m, \underline{E}, \underline{K}\}$  eingesetzt werden. Ansonsten bleibt die Struktur des Regelgesetzes erhalten!

In Fig. 11 wird für den Betriebspunkt  $\{V_{X0}, \dot{\theta}_{S,0}\}$  die Gewichtung  $f_{1,0}$  gesucht.

11

Nomenklatur

a	Abstand vom Schwerpunkt zur Vorderachse
b	Abstand vom Schwerpunkt zur Hinterachse
e	a + b

$F_{YV}$	Seitenkraft vorn (pro Rad)
$F_{YH}$	Seitenkraft hinten (pro Rad)
$F_{YVA}$	Seitenkraft Vorderachse
$F_{YHA}$	Seitenkraft Hinterachse
$K_V$	Reifensteifigkeit vorn (pro Rad)
$K_H$	Reifensteifigkeit hinten (pro Rad)

m	Fahrzeugmasse
---	---------------

$V_X$	Längsgeschwindigkeit
$V_Y$	Quergeschwindigkeit
$\omega$	Giergeschwindigkeit

$\alpha_V$	Schräglaufwinkel vorn
$\alpha_H$	Schräglaufwinkel hinten
$\beta$	Schwimmwinkel
$\delta_V$	vorderer Lenkwinkel
$\delta_H$	hinterer Lenkwinkel
$\theta$	Trägheitsmoment um die Hochachse

$\underline{B}^T$	Transponierte von $\underline{B}$
$\underline{B}^{-1}$	Inverse von $\underline{B}$

Ansprüche

1 Verfahren zur Steuerung des Hinterachslenkwinkels  $\delta_H$  eines oder mehrerer Räder eines Fahrzeugs zwecks Verbesserung der Querdynamik, bei dem der Lenkwinkel  $\delta_V$  des Fahrzeugs und eine das Fahrzeugverhalten kennzeichnende Fahrzeugvariable gemessen werden und mittels eines Referenzmodells unter Einbeziehung des Lenkwinkels eine Referenzvariable ermittelt wird, bei dem die Differenz  $e(K)$  der Referenzvariablen und einer die Fahrzeugvariable beinhaltenden Rechenvariablen gebildet wird und bei der diese Differenz  $e(K)$  zur Bildung der Regelgröße  $\delta_{H_{soll}}$  verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, daß nur eine Fahrzeugvariable  $Y$  gemessen wird, daß mittels eines Fahrzeugmodells

$$Y_{(K+1)} = a_F Y(K) + b_V \delta_V(K) + b_H \delta_H(K) + Z_Y(K)$$

die Variable  $Y_{(K+1)}$  beschrieben wird, daß mittels des Referenzmodells

$$Y_{ref(K+1)} = a_{Fref} \cdot Y_{ref}(K) + b_{Vref} \delta_V(K)$$

die Referenzvariable  $Y_{ref(K+1)}$  ermittelt wird und daß unter Anwendung des folgenden Regelgesetzes

$$\begin{aligned} \delta_{H_{soll}}(K) = & K_I \cdot [K_{Y0} Y(K) + K_{Y1} Y(K-1) \\ & + K_{\delta 0} \delta_V(K) + K_{\delta 1} \cdot \delta_V(K-1) - K_E \cdot e(K)] + \delta_{H_{soll}}(K-1) \end{aligned}$$

die Stellgröße  $\delta_{H_{soll}}(K)$  ermittelt wird, wobei gilt:

$$K_I = \frac{1}{b_H}$$

$$K_{Y0} = (a_{Fref} - a_F - 1)$$

$$K_{Y1} = a_F$$

$$K_{\delta 0} = (b_{Vref} - b_V)$$

13

$$K_{\delta 1} = b_V$$

$K_E$  : frei wählbar

$a_F$ ,  $b_V$ ,  $b_H$  sind Fahrzeugparameter

$a_{Fref}$ ,  $b_{Vref}$  sind frei wählbare Parameter des Referenzmodells.

2 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Fahrzeugvariable die Giergeschwindigkeit  $\omega$  ist.

3 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Fahrzeugvariable die Quergeschwindigkeit  $V_y$  ist.

4 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Fahrzeugvariable die Querbeschleunigung  $a_y$  ist.

5 Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß unter Nutzung zweier unterschiedlicher gemessener Fahrzeugvariablen zwei Stellgrößen  $\delta_{H1soll}$  und  $\delta_{H2soll}$  bestimmt werden, daß diese nach der Beziehung  $\delta_{Hsoll} = F\delta_{H1soll} + (1-F)\delta_{H2soll}$  miteinander verknüpft werden und daß mit Hilfe einer Fuzzy-Logik die Funktion  $F$  in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_x$  und der Ableitung des Lenkwinkels  $\dot{\delta}_V$  geändert wird.

6. Verfahren zur Steuerung des Hinterachslenkwinkels  $\delta_H$  eines oder mehrerer Räder eines Fahrzeugs zwecks Verbesserung der Querdynamik, bei dem der Vorderachslenkwinkel  $\delta_V$  des Fahrzeugs und zwei das Fahrzeugverhalten kennzeichnende Fahrzeugvariable verwendet werden, dadurch gekennzeichnet, daß unter Nutzung der beiden unterschiedlichen, gemessenen Fahrzeugvariablen zwei Stellgrößen  $\delta_{H1soll}$  und  $\delta_{H2soll}$  bestimmt werden, daß diese nach der Beziehung  $\delta_{Hsoll} = F\delta_{H1soll} + (1-F)\delta_{H2soll}$  miteinander verknüpft werden und daß mit Hilfe einer Fuzzy-Logik die Funktion F in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_x$  und der Ableitung des Lenkwinkels  $\delta_V$  geändert wird.



1/10

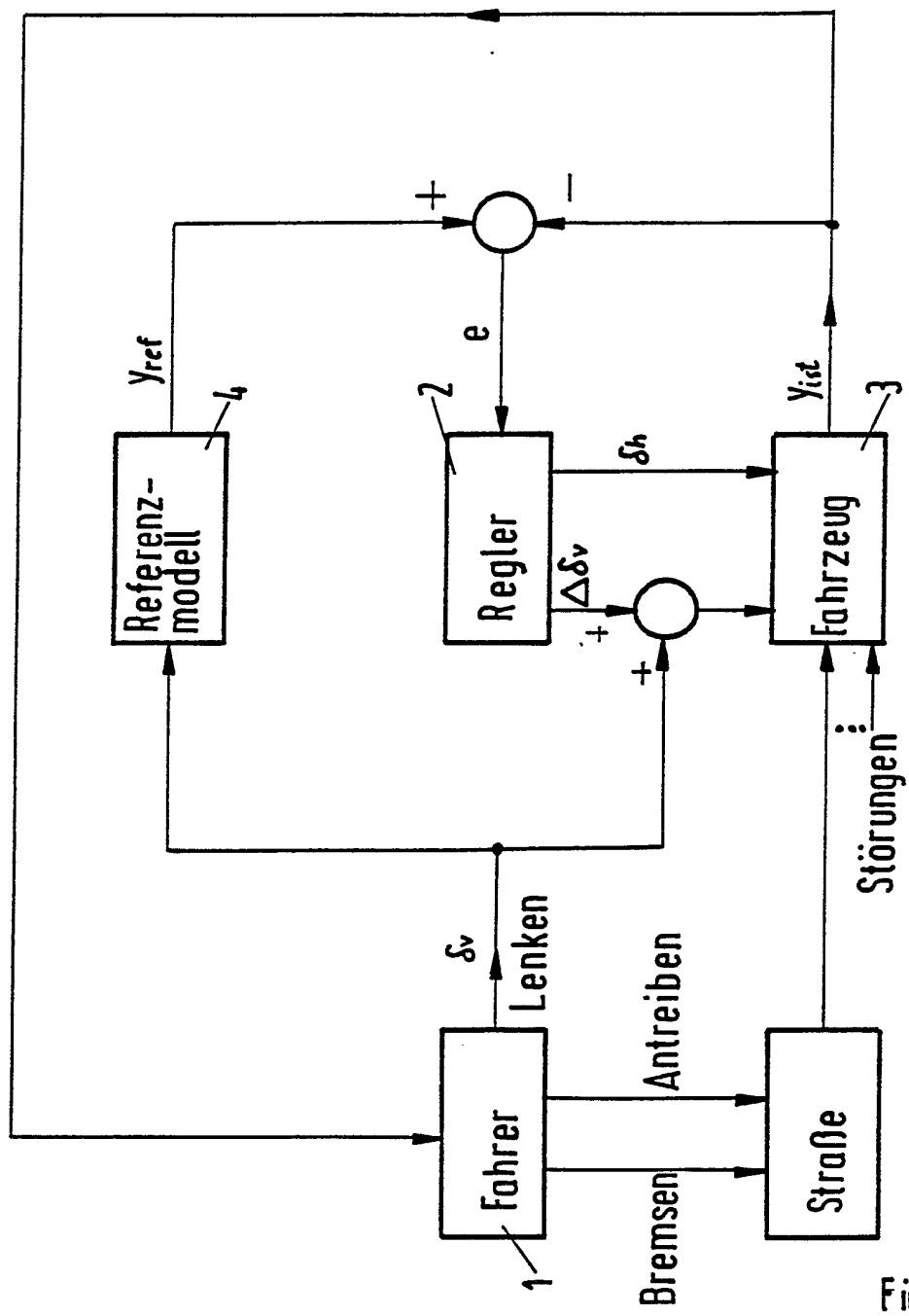


Fig.1

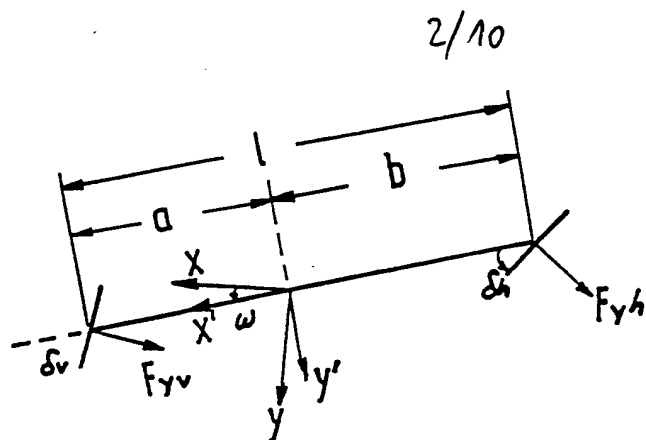


Fig.2

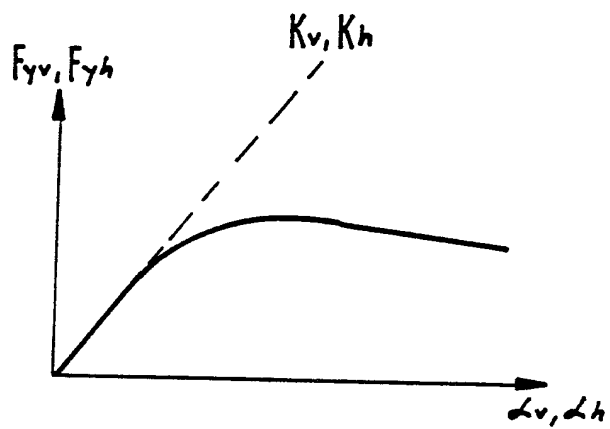


Fig.3

3/10

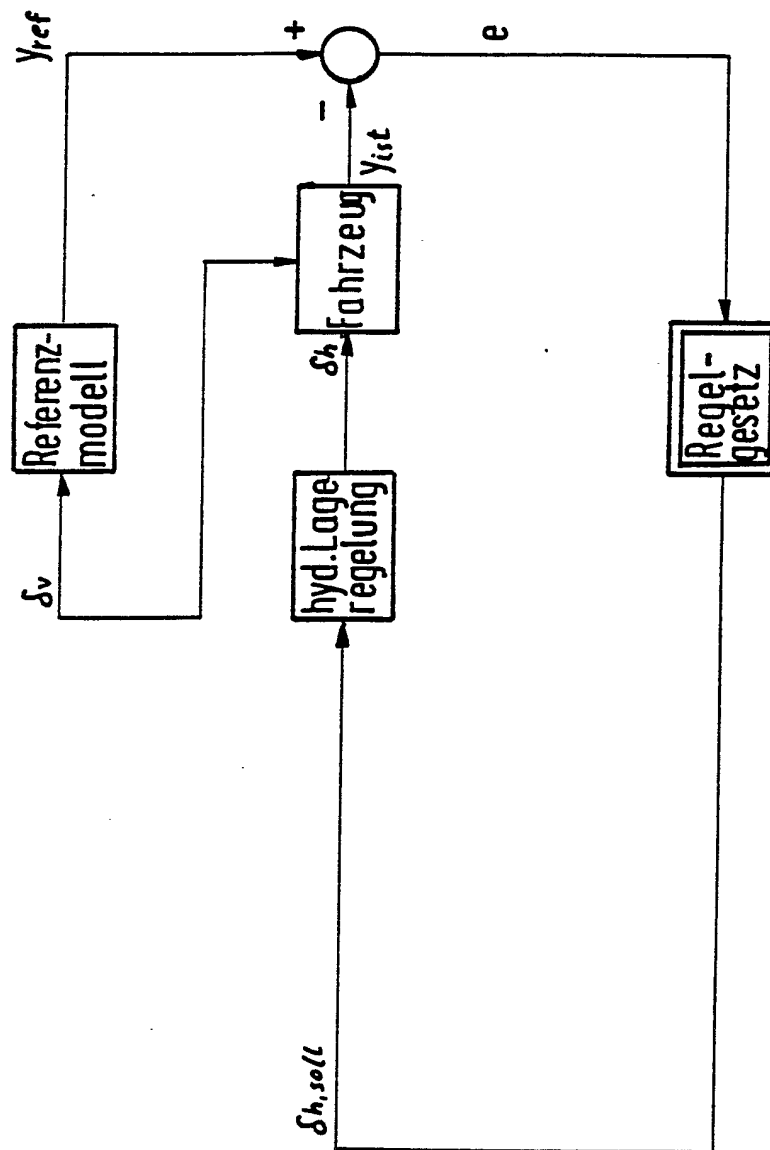


Fig.4



S/10

Tabelle 1

$y_{ist}$	$\omega_{ist}$	$V_{y,ist}$	...	...
$y_{ref}$	$\omega_{ref}$	$V_{y,ref}$	...	...
$e$	$\omega_{ref} - \omega_{ist}$	$V_{y,ref} - V_{y,ist}$	...	...
$K_e$	$K$	$K_{e,vy}$	...	...
$K_{y0}$	$a'_{22ref} - a'_{22} - 1$	$a'_{11ref} - a'_{11} - 1$	...	...
$K_{y1}$	$a'_{22}$	$a'_{11}$	...	...
$K_{\delta_0}$	$b'_{21ref} - b'_{21}$	$b'_{11ref} - b'_{11}$	...	...
$K_{\delta_1}$	$b'_{21}$	$b'_{11}$	...	...
$K_I$	$\frac{1}{b'_{22}}$	$\frac{1}{b'_{12}}$	...	...

Fig.6

6/10

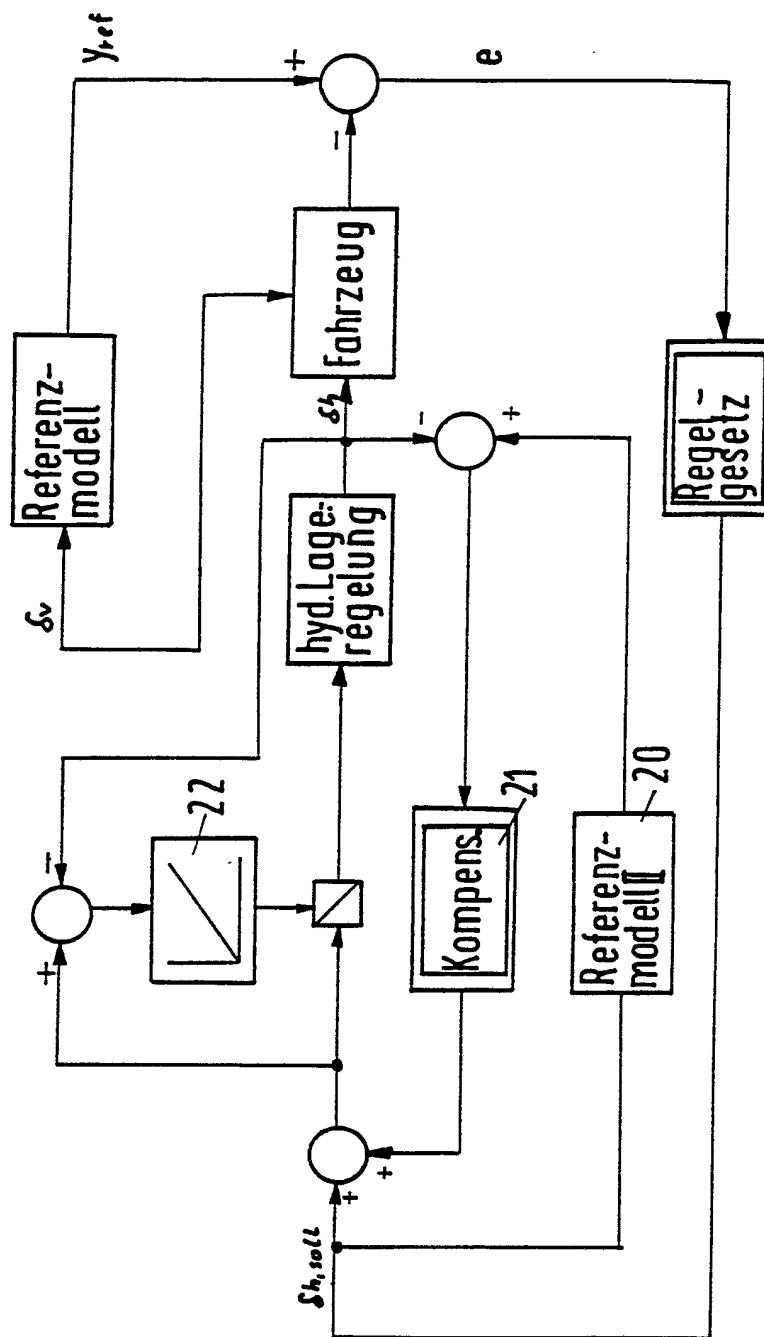


Fig.7

7/10

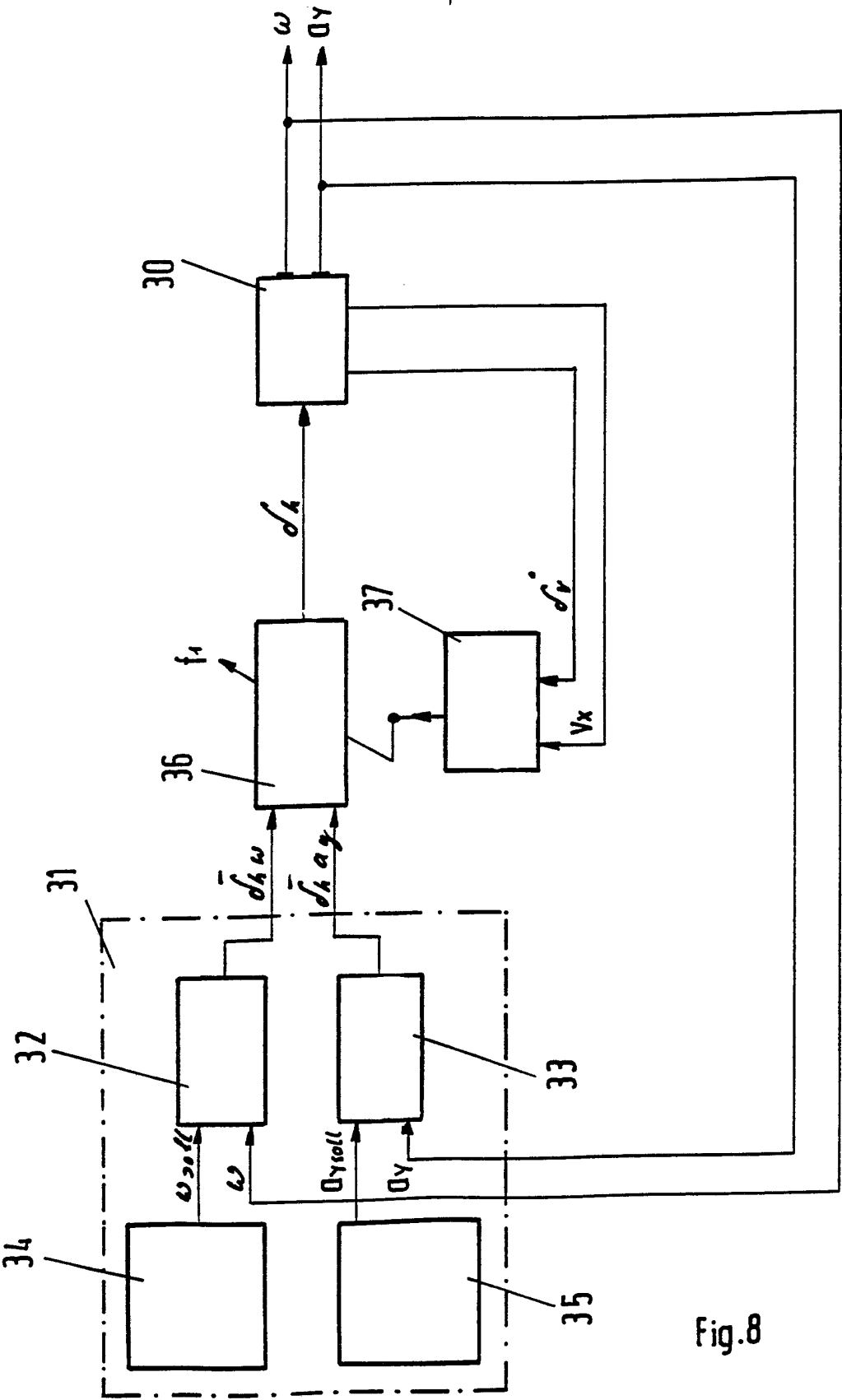


Fig.8

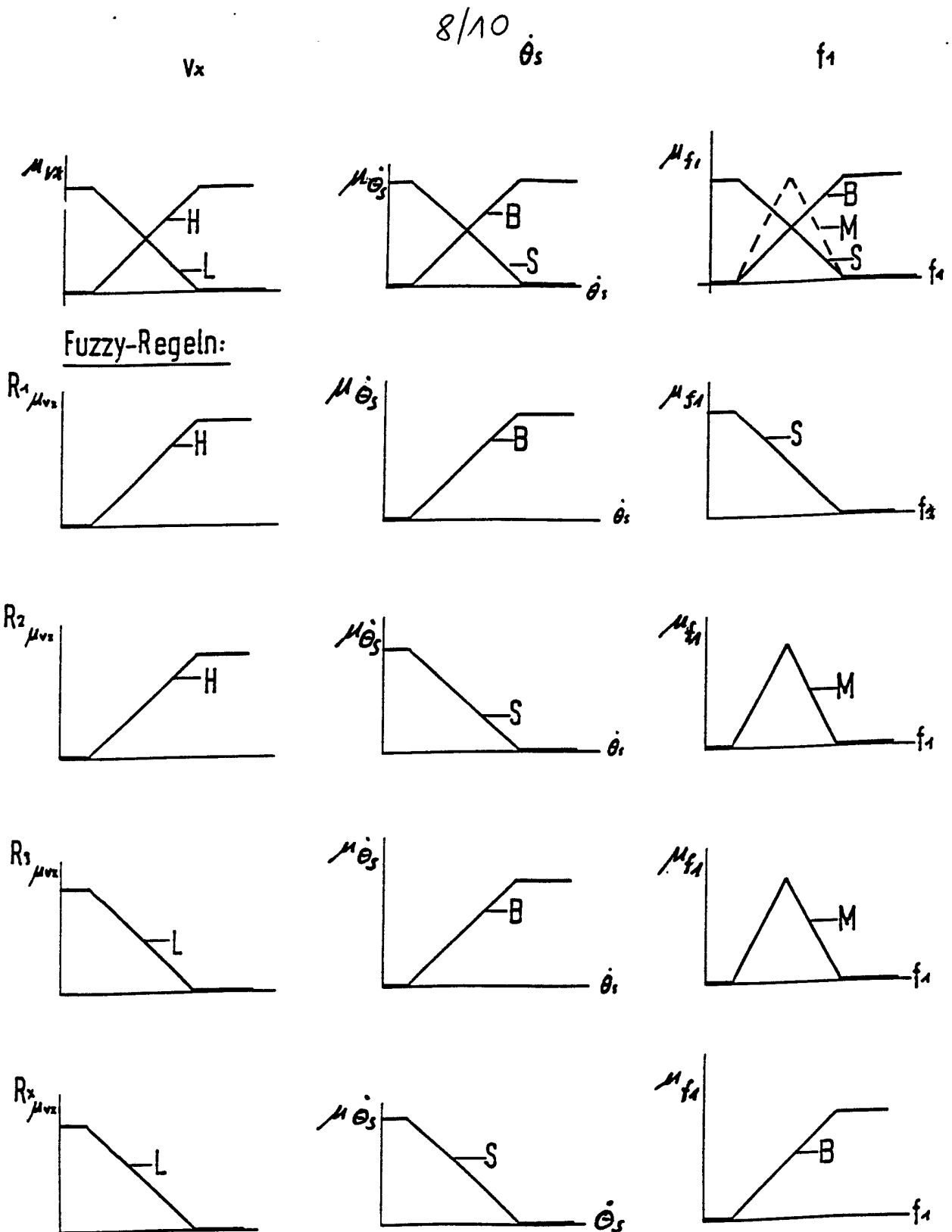


Fig.9



9/10

$f_1$ $v_x$ $\dot{\theta}_s$	B	S
H	S	M
L	M	B

Fig.10

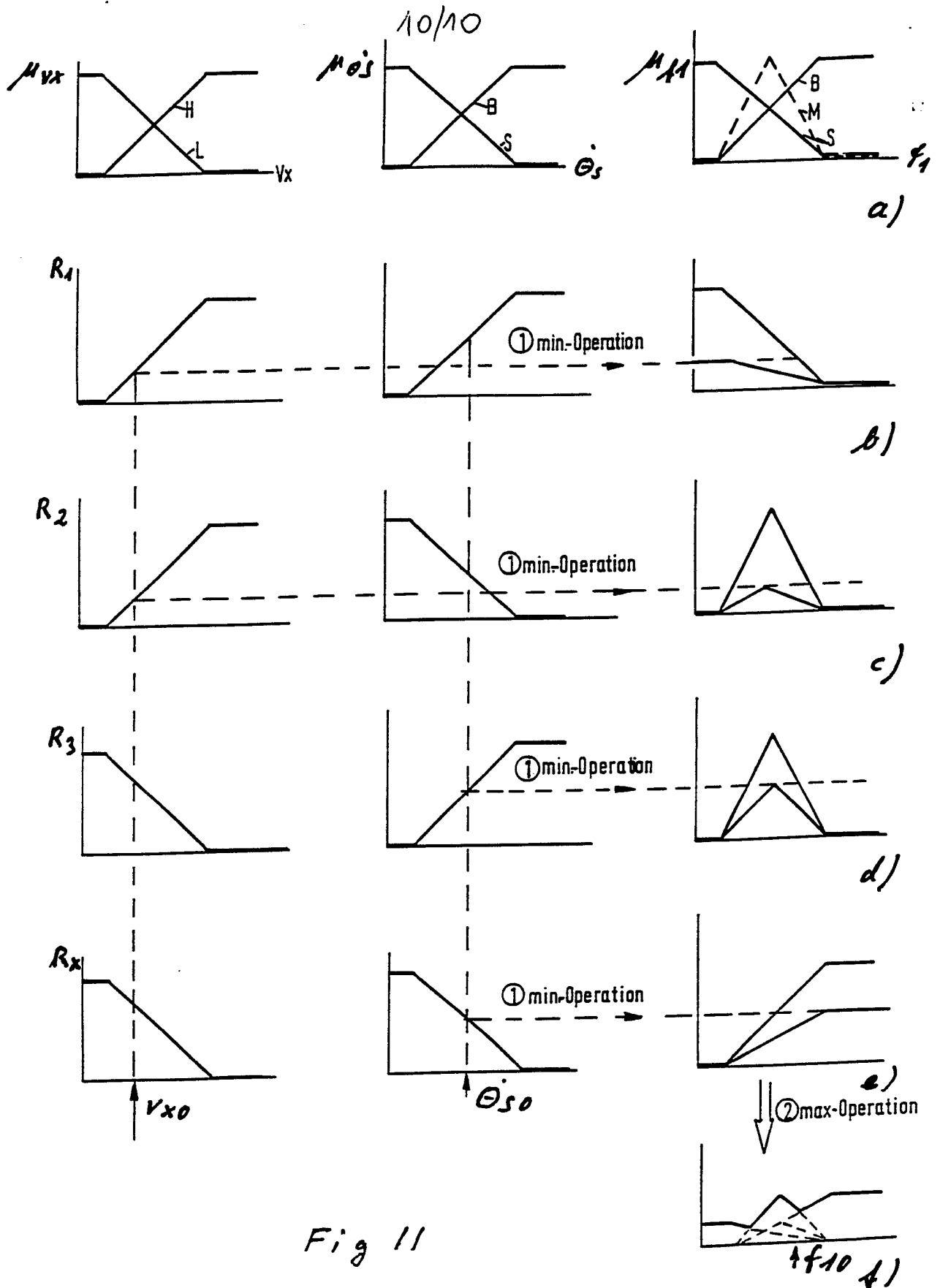


Fig 11

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No. PCT/EP 91/01838

<b>I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> (if several classification symbols apply, indicate all) <sup>6</sup>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC		
Int.Cl. <sup>5</sup> : B 62 D 7/15		
<b>II. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum Documentation Searched <sup>7</sup>		
Classification System	Classification Symbols	
Int.Cl. <sup>5</sup> :	B 62 D	
Documentation Searched other than Minimum Documentation to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched <sup>8</sup>		
<b>III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <sup>9</sup></b>		
Category <sup>*</sup>	Citation of Document, <sup>11</sup> with indication, where appropriate, of the relevant passages <sup>12</sup>	Relevant to Claim No. <sup>13</sup>
Y	GB, A, 2 083 422 (HONDA) 24 March 1982 see abstract; figure 5	1-3
A	--	4
Y	DE, A, 3 532 222 (NISSAN) 20 March 1986 see page 23, line 23 - page 24, line 15; figures 1,4	1-3
P,X	--	1
	EP, A, 0 430 028 (MATSUSHITA) 5 June 1991 see page 9, line 13 - page 12, line 7; figures 6-8	
A	--	1
	FR, A, 2 558 130 (HONDA) 19 July 1985 see page 15, line 28 - page 17, line 13; figure 4	
A	--	1,3
	DE, A, 3 642 049 (NISSAN) 11 June 1987 see page 4, line 35 - page 5, line 23; figures 1-6	
A	--	4
	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14, No: 521 (P-1131) 15 November 1990 & JP, A, 2 217 903 (MATSUSHITA) 30 August 1990, see abstract	
-----		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><sup>*</sup> Special categories of cited documents: <sup>10</sup></p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p> </div> </div>		
<b>IV. CERTIFICATION</b>		
Date of the Actual Completion of the International Search	Date of Mailing of this International Search Report	
18 December 1991 (18.12.91)	13 January 1992 (13.01.92)	
International Searching Authority	Signature of Authorized Officer	
European Patent Office		

**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.**

EP 9101838

SA 51428

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The members are as contained in the European Patent Office EDP file on 11/02/92. The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB-A- 2083422	24-03-82	JP-A- 57044568	13-03-82
		JP-C- 1369727	25-03-87
		JP-A- 57060974	13-04-82
		JP-B- 61035020	11-08-86
		JP-A- 57070774	01-05-82
		DE-A- 3133985	18-03-82
		DE-A- 3153735	13-06-91
		FR-A,B 2495088	04-06-82
		US-A- 4412594	01-11-83
DE-A- 3532222	20-03-86	JP-A- 61067666	07-04-86
		US-A- 4690431	01-09-87
EP-A- 0430028	05-06-91	JP-A- 3163601	15-07-91
FR-A- 2558130	19-07-85	JP-B- 3052385	09-08-91
		JP-A- 60148769	06-08-85
		JP-A- 60148770	06-08-85
		JP-A- 60148771	06-08-85
		JP-A- 60148772	06-08-85
		DE-A,C 3500793	25-07-85
		GB-A,B 2153311	21-08-85
		US-A- 4964481	23-10-90
DE-A- 3642049	11-06-87	JP-A- 62137276	20-06-87
		US-A- 4718685	12-01-88

**I. KLASSEFIZIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS** (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben)<sup>6</sup>

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

Int.Kl. 5 B62D7/15

**II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE**Recherchierter Mindestprüfstoff <sup>7</sup>

Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole
Int.Kl. 5	B62D

Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen <sup>8</sup>**III. EINSCHLAGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN** <sup>9</sup>

Art. <sup>9</sup>	Kennzeichnung der Veröffentlichung <sup>11</sup> , soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile <sup>12</sup>	Betr. Anspruch Nr. <sup>13</sup>
Y	GB,A,2 083 422 (HONDA) 24. März 1982 siehe Zusammenfassung; Abbildung 5	1-3
A	---	4
Y	DE,A,3 532 222 (NISSAN) 20. März 1986 siehe Seite 23, Zeile 23 - Seite 24, Zeile 15; Abbildungen 1,4	1-3
P,X	EP,A,0 430 028 (MATSUSHITA) 5. Juni 1991 siehe Seite 9, Zeile 13 - Seite 12, Zeile 7; Abbildungen 6-8	1
A	FR,A,2 558 130 (HONDA) 19. Juli 1985 siehe Seite 15, Zeile 28 - Seite 17, Zeile 13; Abbildung 4	1
A	DE,A,3 642 049 (NISSAN) 11. Juni 1987 siehe Seite 4, Zeile 35 - Seite 5, Zeile 23; Abbildungen 1-6	1,3

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen <sup>10</sup> :---

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

"G" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

**IV. BESCHEINIGUNG**

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. DEZEMBER 1991

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

13 JAN 1992

Internationale Recherchenbehörde

EUROPAISCHES PATENTAMT

Unterschrift des bevollmächtigten Bediensteten

HAGEMAN M.

III. EINSCHLAGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN (Fortsetzung von Blatt 2)		
Art °	Kennzeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14, no. 521 (P-1131)15. November 1990 &amp; JP,A,2 217 903 ( MATSUSHITA ) 30. August 1990 siehe Zusammenfassung</p> <p>----</p>	4

# ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR.

EP 9101838

SA 51428

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am 11/02/92

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB-A- 2083422	24-03-82	JP-A- 57044568	13-03-82
		JP-C- 1369727	25-03-87
		JP-A- 57060974	13-04-82
		JP-B- 61035020	11-08-86
		JP-A- 57070774	01-05-82
		DE-A- 3133985	18-03-82
		DE-A- 3153735	13-06-91
		FR-A, B 2495088	04-06-82
		US-A- 4412594	01-11-83
DE-A- 3532222	20-03-86	JP-A- 61067666	07-04-86
		US-A- 4690431	01-09-87
EP-A- 0430028	05-06-91	JP-A- 3163601	15-07-91
FR-A- 2558130	19-07-85	JP-B- 3052385	09-08-91
		JP-A- 60148769	06-08-85
		JP-A- 60148770	06-08-85
		JP-A- 60148771	06-08-85
		JP-A- 60148772	06-08-85
		DE-A, C 3500793	25-07-85
		GB-A, B 2153311	21-08-85
		US-A- 4964481	23-10-90
DE-A- 3642049	11-06-87	JP-A- 62137276	20-06-87
		US-A- 4718685	12-01-88